

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

M-9138

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-96827

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月14日

(51) Int. Cl. "

G02B 6/10

6/16

識別記号

庁内整理番号

F I

G02B 6/10

6/16

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全7頁)

(21) 出願番号 特願平9-237456

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月2日

(31) 優先権主張番号 08/707879

(32) 優先日 1996年9月9日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

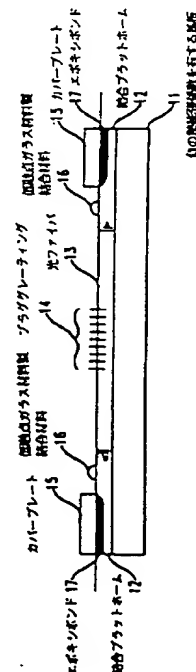
ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッドLucent Technologies
Inc.アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636 U. S. A.

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 屈折率グレーティングを含む光ファイバを有する物品

(57) 【要約】

【課題】 温度補償されたファイバブラッググレーティ
ングを有する装置を提供する。【解決手段】 本発明の物品は、支持部材 (11) と、
この支持部材に取り付けられたある温度 (例えば20
℃) で反射波長 λ で、ある長さのファイバブラッググレー
ティングを有するある長さの光ファイバとを有する。こ
の支持部材は、負の熱膨張係数を有する材料で、Zr-
タングステン酸塩ベースの組成物と、Hf-タングス
テン酸塩ベースの組成物からなるグループから選択さ
れた組成物を含む。正の熱膨張係数材料は、 Al_2O_3 、
 SiO_2 、 ZrO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 からなるグ
ループから選択されたものである。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 動作範囲内のある温度で反射波長 λ とある長さの屈折率グレーティング(14)を具備した光ファイバ(13)を有する物品において、前記光ファイバ(13)は、支持部材(11)に取り付けられ、

前記支持部材は、前記反射波長 λ が前記動作温度範囲に亘って、温度依存性がないように選択された負の熱膨張係数を有することを特徴とする屈折率グレーティングを含む光ファイバを有する物品。

【請求項2】 前記支持部材の負の熱膨張係数は、 $|d\lambda/dT|$ の絶対値が、支持部材に取り付けられていない同一のグレーティングの $d\lambda/dT$ の20%以下であることを特徴とする請求項1の物品。

【請求項3】 前記動作温度範囲は、20℃を含むことを特徴とする請求項1の物品。

【請求項4】 前記動作温度範囲は、-20℃から65℃の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項3の物品。

【請求項5】 前記光ファイバは、シリカベースの光ファイバであることを特徴とする請求項1の物品。

【請求項6】 前記光ファイバは、少なくとも屈折率グレーティングの長さの範囲に亘って支持部材に固着されていることを特徴とする請求項1の物品。

【請求項7】 前記屈折率グレーティングは、前記支持部材から離間した状態になるように結合プラットフォーム(12)を介して支持部材(11)に前記光ファイバは取り付けられていることを特徴とする請求項1の物品。

【請求項8】 前記結合プラットフォームは、光ファイバの熱膨張係数に適合する熱膨張係数を有する材料製であることを特徴とする請求項7の物品。

【請求項9】 前記材料は、INVAR(登録商標)であることを特徴とする請求項8の物品。

【請求項10】 前記支持部材は、Zr-タンングステン酸塩ベースの組成物と、Hf-タンングステン酸塩ベースの組成物からなるグループから選択された組成物を含むことを特徴とする請求項1の物品。

【請求項11】 前記支持部材は、正の熱膨張係数を有する材料をある量含み、その量は所望の負の熱膨張係数を有する支持材料を提供するよう選択されることを特徴とする請求項10の物品。

【請求項12】 前記正の熱膨張係数材料は、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 MgO 、 CaO 、 Y_2O_3 からなるグループから選択されたものであることを特徴とする請求項11の物品。

【請求項13】 前記支持部材は、第2の正の熱膨張係数を有する部材に結合された第1の負の熱膨張係数を有する部材を含み、前記第1と第2の部材は、支持部材が所望の値の負の熱膨張係数を有するよう選択されることを特徴とする請求項1の物品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ屈折率グレーティングを含む物品に関し、特に反射波長が温度に依存しない(温度に無関係)ようにパッケージされたグレーティングを含む装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ屈折率グレーティング(ファイバブラッググレーティングあるいは単にグレーティングと称する)は公知であり、例えば光ファイバ通信システムに幅広く使用されている。

【0003】単純なチューブしていないファイバブラッググレーティングは、反射波長 $\lambda = 2n_{eff}\Lambda$ を有する。ここで n_{eff} は導波光学モードの有効屈折率であり、 Λ は光ファイバ中の屈折率変化の空間周期である。 n_{eff} と Λ の両方とも温度依存性があり、シリカベースの光ファイバのグレーティングの実質温度依存性は、 λ が約1550nmで $+0.0115\text{nm}/^\circ\text{C}$ である。温度により誘導される屈折率波長の変化は、主に温度による有効屈折率 n_{eff} の変化に起因する。 Λ の熱膨張による変化は、従来の SiO_2 ベースのファイバのグレーティングの温度依存性の僅かな部分の原因となるにすぎない。

【0004】ファイバブラッググレーティングの多くの応用例においては、反射波長が温度に依存しないことが好ましい。米国特許出願08/539,473(出願日1995年10月4日、発明者:D.J. DiGiovanni et al.)では、温度に依存しない長周期のファイバグレーティングを開示している。この温度の独立性は、多層クラッドを有するファイバ中のクラッド組成を適宜選択することにより達成される。

【0005】これに関しては、同一出願人による出願、発明の名称“Long-Period Fiber Grating Devices Packaged for Temperature Stability”発明者 J.B. Judkins et al.の出願を参照のこと。米国特許第5,042,898号は、ファイバブラッググレーティングの温度補償を与える装置を開示している。この装置は熱膨張係数が互いに異なる2本の平行に配置した補償部材を具備している。この2本の補償部材は、両方とも従来通り正の熱膨張係数を有する。

【0006】光ファイバは各補償部材に固定して取り付けられ、この2つの取付点の間にグレーティングを配置している。この装置は、グレーティングに対し、引っ張り応力または圧縮応力をかけるよう構成されている。後者の場合(圧縮応力をかける場合)、グレーティングは小さなチューブ(実験によればシリカ製チューブ)内に(その長さ方向に沿って結合しながら)固定している。これに関しては、G.W. Yoffe et al. 著の Applied Optics, Vol. 34(30), p. 6859 (1995年10月)を参照のこと。

【0007】この従来技術に係る2つの材料のパッケージ

ジは、正確な許容誤差でもって製造する必要がある、そしてパッケージを含む2つ（あるいはそれ以上の）の部品は、装置の寿命の間極めてきっちりと整合しておかなければならない。たとえ小さな移動でもグレーティングに対しては、許容し難いほどの大きな引っ張り応力の変化を引き起こし、その結果好ましくない波長変化（シフト）を生成してしまう。

【0008】さらにまたこの従来技術に係る2つの部材によるパッケージは、グレーティングよりも遥かに長く、例えばグレーティングデバイスよりも少なくとも50%以上長いために、従来技術に係るパッケージは、しばしば好ましくないほど大きくなりがちである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】したがって温度補償されたファイバブラッググレーティングの必要性に鑑みると、このような温度補償を与えるような単純で信頼性のある方法および装置を提供することが望ましい。

【0010】幅広い温度範囲に亘って負の熱膨張係数を有するセラミック材料は公知である。これに関しては、例えば T.A. Mary et al. 著の Science, Vol. 272, p. 90 (1996年4月5日) と、米国特許第5,514,360号を参照のこと。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、特許請求の範囲に記載された通りである。より広い観点からすると、本発明は温度補償されたファイバブラッググレーティングを含む物品（例、光ファイバ増幅器、ファイバグレーティングベースのWDM装置あるいは追加／取り出しマルチプレクサ／ディマルチプレクサ）で実現される。グレーティングは、単純な線形グレーティングでもよく、またチャープされたチャープグレーティング (chirped grating) および／またはブレイズドグレーティング (blazed grating) でもよい。

【0012】さらに具体的に説明すると、本発明の物品は支持部材と、ある温度（例えば20℃）で反射波長である長さのファイバブラッググレーティングを有するある長さの光ファイバを有する。この光ファイバは、支持部材に取り付けられる。この支持部材は、反射波長が、特定の温度範囲（例えば-20℃から65℃の間）で、ほぼ温度に依存しなくなるように選択された負の熱膨張係数を有するよう設定選択される。

【0013】ここで反射波長 λ が温度に依存しないとは、パッケージされたグレーティングの $|d\lambda/dT|$ の値が20℃で、パッケージされていないグレーティングの $|d\lambda/dT|$ の値の50%以下、好ましくは20%以下、さらに好ましくは10%以下であるようなものを言う。

【0014】ここで反射波長 λ とは、グレーティングの最大反射波長を言う。

【0015】

【発明の実施の形態】図1において、負の熱膨張係数を有する基板11の両端に結合ブラットホーム12が形成され、この結合ブラットホーム12の上にブラッググレーティング14を有する光ファイバ13が配置されて、結合ブラットホーム12と光ファイバ13との結合は低融点ガラス材料製結合材料16により行われている、そして選択的事項としてエポキシボンド17により低融点ガラス材料製結合材料16を結合ブラットホーム12に固定してもよい。そしてさらにオプションとしてカバープレート15が配置されている。この実施例においては、光ファイバ13のブラッググレーティング14の部分は負の熱膨張係数を有する基板11に直接固定されていない。これはグレーティングが特定の温度範囲の間、引っ張り応力がかかった状態になるようパッケージが組み立てられている。

【0016】これは光ファイバ13を負の熱膨張係数を有する基板11に取り付ける間、適切な引っ張り応力がグレーティング14にかかるようにすることにより、そしてさらに好ましくはある特定の温度の最大温度において、応力がかからないようファイバを基板に取り付けることにより行われる。光ファイバ13を負の熱膨張係数を有する基板11に固定する低融点ガラス材料製結合材料16は、結合材料の長期に亘るスリップあるいはクリープ現象を阻止しなければならず、例えば80mmの長さのグレーティングで、0.6 μ m長さの変化は1550nm波長のグレーティングに対しては0.01nmの波長変化を生ずるからである。

【0017】低融点ガラス材料製結合材料16は低クリープ結合を形成し、結合材料としては現在のところ好ましいものである。最も好ましいものとしては、熱膨張の不整合を最少にするために、低熱膨張係数あるいは負の熱膨張係数を有する低融点ガラス材料である。低融点ガラス材料（例、熱膨張適合用にFを含有する場合あるいはしない場合のリン-アルミ-シリケートガラス (phospho-alumino-silicate glass)）は、フリットとして塗布され、ファイバが配置された基板をグレーティングの最大動作温度（80℃以上）以上の接着温度（120℃）に加熱し、その後フリットを適当な手段、例えばCO₂レーザ、YAGレーザ、あるいは高温ガス流により溶融する。

【0018】このようにして取り付けられたファイバは、取付温度ではストレスがかかっていない状態で、最大動作温度あるいはそれ以下（-40℃から80℃の間）では、引っ張り応力がかかった状態となる。

【0019】この低融点ガラスは、唯一の適正結合材料ではない。例えば、低クリープ金属ハンダ（例、Au-Snハンダ）を用いることもでき、あるいは有機接着剤（例、エポキシ）も用いることができる。しかし、後者（有機接着剤）は、比較的に低い低融点ガラス結合を外周部ストレスから切り離す為の二次接着剤として用いるの

が好ましい。この二次接着は、光ファイバのコーティングした部分に行われるのが好ましい(必ずしもその必要はないが)が、低融点ガラスあるいはハンダ結合は、裸のファイバに対し行われる。後者の場合ファイバは、通常金属コーティングされ、これは光ファイバのハンダ結合でも従来行われていたものである。

【0020】図1において、結合ブラットホーム12は負の熱膨張係数を有する基板11と一体に形成することでもできるが、別の材料で負の熱膨張係数を有する基板11に従来手段により接着することにより形成することもできる。この結合ブラットホーム12は、INVAR(登録商標)ブロックで、接合領域のファイバ上の熱歪を最少にするよう選択されたものである。別法として結合ブラットホーム12の上部表面上に光ファイバ収納用溝を形成することでもできる。選択的事項としてカバープレート15を結合ブラットホーム12に結合してもよい。好ましくはカバープレート15は溝を有し、結合ブラットホーム12と同一材料(例、INVAR)製である。

【0021】高弾性率(例、 3×10^4 psi (210 9 Kg/cm²)以上)のポリマーの裸のファイバ層(薄い好ましくは $6.5 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $30 \mu\text{m}$ 以下)の層をコーティングした光ファイバへのエポキシ結合は、エポキシ層が非常に薄い場合(例、 $10 - 20 \mu\text{m}$ の場合)には適切なクリープ耐性がある。実験によると、エポキシは、 100°C 以上のガラス遷移温度を有する熱硬化性エポキシである。

【0022】必要によっては図1の組立体は、グレーティングを保護するための従来のハウジング内に配置してもよい。ただし、組立体の熱膨張特性に悪影響を及ぼさないよう注意する必要がある。

【0023】図1の組立体においては、グレーティングは通常不用な不均一歪あるいは偶発的なチャープがないものであるが、しかし他の構造でも許容可能な性能を提供できることもある。

【0024】図2の組立体は、負の熱膨張係数を有する基板11とカバープレート22とを有し、その間にブラッググレーティング14を有する光ファイバ13とエポキシ接合材料25とを有する。この組立体は、結合領域の長さをグレーティングの長さまで増加することにより高い信頼性が得られる。不均一の光ファイバの歪およびその結果発生するグレーティングのチャープを回避するために、低膨張率エポキシを使用するのが望ましい。

【0025】このようなエポキシは、微細粒のZrW₂O₈(あるいは他の負の熱膨張係数材料)を従来のエポキシ(Epoxy Technology, Billerica, MA から市販されているEpo Tek H61のような単一成分のエポキシ)に添加することにより得られる。さらに詳細は、前掲の米国特許360号を参照のこと。ブラッググレーティング14は、薄く($25 \mu\text{m}$ 以下)、高い弾性率(3×10^4

psi以上)のポリマーコーティングを有し、負の熱膨張係数を有する基板11と、カバープレート22により均一でクリープない状態の結合を提供できる。好ましくは負の熱膨張係数を有する基板11とカバープレート22は、それぞれ光ファイバ収納用溝を有するのが好ましい。必要によっては図2の組立体は、従来のハウジング内に収納してもよい。

【0026】図2の組立体は、最大動作温度以上の温度で組み立ててはならない(組み立てることはできる)。その理由は、グレーティングを有する光ファイバは、横方向の動きが制限され、その結果軸方向の圧縮歪を生成するからである。このため光ファイバは、適宜の温度例えば室温で負の熱膨張係数を有する基板11とカバープレート22により結合される。勿論結合材料はエポキシである必要はない。例えば、金属ハンダも原理的には用いることができる。

【0027】支持部材(例、図1の負の熱膨張係数を有する基板11と結合ブラットホーム12あるいは図2の負の熱膨張係数を有する基板11)を適宜選択することによりグレーティングのほぼ完全な温度補償が得られることが分かった。実験によれば、シリカベースのシングルモードファイバの従来の 1550 nm グレーティングに対しては、支持部材の熱膨張係数が $-9.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ の場合にはほぼ完全な温度補償が得られる。この支持部材は、ZrW₂O₈で得られる。

【0028】公表されたデータでは、ZrW₂O₈の熱膨張係数は、 -4.7×10^{-6} から $-9.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ の範囲内である。(T.A. Mary et al.の論文を参照のこと)本発明者らは、ZrW₂O₈の粉末を用いて従来技術によりこのセラミック材料の焼結体(焼結モノリス)を形成した。このモノリスの熱膨張係数は、 $-12.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ であった。この結果から製造条件によりバルク形状のこの材料は、ある範囲の熱膨張係数を有することが分かる。あるグレーティングの最適の温度補償を行うために、熱膨張係数を適宜これにより調整することができる。

【0029】熱膨張率を調整することは、正の熱膨張係数を有する材料(例、通常粉末形態のAl₂O₃、SiO₂、ZrO₂、MgO、CaO、Y₂O₃)を適宜の量、負の熱膨張係数を有する材料に加えて混合物を形成することにより得られた焼結体の熱収縮を所望の値に減少させることにより可能である。別の方法として、(負の熱膨張係数を有する)の支持部材を従来の正の熱膨張係数を有する追加部材(例、Al₂O₃、SiO₂、ZrO₂製部材)に結合して、所望量の負の熱膨張係数を有する合成体を生成することによってもできる。

【0030】従来のシリカベースの光ファイバの屈折率グレーティングは、波長が 1550 nm で、 $0.011 - 0.012 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ のオーダーの温度依存性を有する。しかし、D₂-sensitized ファイバにおいては、グ

レーティングは波長が1550nmで、0.016nm/℃の温度依存性を有する。現在問題となっている全てのグレーティングの温度依存性を取り除くためには、負の熱膨張係数を有する支持部材を大幅に調整する必要がある。

【0031】あるグレーティングに適切な温度補償を与える支持部材の熱膨張係数(α_s)は、次式で与えられる。

【数1】

$$\alpha_s = -(\alpha_g + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T})(1-P_e)^{-1}$$

ここで、 α_s は(パッケージされていない)あるグレーティングの熱膨張係数で、 n はグレーティングの有効屈折率で、 T は温度で、 P_e は光ファイバの光弾性定数(photo-elastic constant)で、シリカベースのファイバでは、実験によると0.22である。

【0032】上記の式から分かるように一次オーダーでは、 α_s はグレーティングのブラッグ波長 λ には依存しない。かくして1550nmのグレーティングに適した支持部材の材料は、1310nmのグレーティングについて通常適切なものである。

【0033】現在問題となっているグレーティングに温度補償を与えるために、支持部材の材料(例、 ZrW_2O_8 、 HfW_2O_8)とあるいはその混合物の熱膨張特性を調整することが望ましい。

【0034】正の熱膨張係数を有する材料と、負の熱膨張係数を有する材料の混合物によりその材料の負の熱膨張係数の値を実験的に調整することができる。得られた支持部材の材料の負の熱膨張係数を所望の値に低減するある添加剤の量は、一次オーダーで次式の線形混合ルール(linear mixing rule)により容易に決定できる。

【数2】

$$\alpha_m = V_1 \alpha_1 + V_2 \alpha_2$$

ここで α_m 、 α_1 、 α_2 は、混合物と構成成分1と構成成分2のそれぞれの線形熱膨張係数で、 V_1 、 V_2 は構成成分1と構成成分2のそれぞれ体積分率である。混合粉末から製造されるセラミック製支持部材の製造方法は、従来公知のものである。

【0035】熱膨張係数は、 Zr -タングステン酸塩セラミック中の $Zr:W$ の比率を実験的に変化させ(即ち、価電子要件を満たすよう公称組成 $Zr_{1+x}W_2O_8 \pm \delta$ (x は $-0.4 \leq x \leq 0.4$ で、 δ は通常0.1以下)の材料を形成することである)、 ZrW_2O_8 を Hf で合金化し(Zr の一部を Hf で置換することを含む)、 ZrW_2O_8 を Mo で合金化する(W の一部を Mo で置換することを含む)、そして1000℃から1350℃の範囲の温度でもって、 ZrW_2O_8 のセラミックを加熱処理して、その結果 ZrW_2O_8 が ZrO と WO_3 に一部変化し、熱膨張係数を制御しながら永続的に増加させ(詳細は、Chang et al. 著の J. American Ceramic

Society, Vol. 50, p. 211を参照のこと)、あるいは負の熱膨張係数の部材と別の熱膨張係数を有する金属製あるいはセラミック製の部材との積層体が得られ、その結果得られた合成部材は所望の実行膨張係数を有することになる。

【0036】実験例1

ZrW_2O_8 の粉末を従来の有機バンダーと混合し、冷間圧縮してそれぞれが25mmと38mmの長さの2個の平面プレートを形成した。このグリーンのプレートを空气中で1200℃で4時間焼結した。室温まで冷却した後、このプレートの熱膨張係数は、従来の膨張計で測定したが、 $-12.4 \times 10^{-6}/℃$ であった。このプレートの一表面が研磨されて平坦となり、組み立てられたパッケージの許容差を確保し、そして溝が2枚のプレートの長い方の研磨された表面に切られた。この溝は光ファイバを収納するためのもので従来のダイヤモンド刃で切られた。

【0037】約10mmの長さの従来の光ファイバグレーティングを有するシリカベースのシングルモード光ファイバをこの溝の中に配置した。そしてその際にコーティングされていないグレーティングの部分が、ほぼ中心にくるようにそしてコーティングされたファイバのビグテールがそのプレートから飛び出すようにした。その後組立体を熱硬化性エポキシ接着剤でもって結合した。様々な種類の従来の接着剤が使用できる。この結合は、光ファイバのビグテールのコーティングされた部分を含みそしてグレーティングの長さ全長に亘って、結合が行われた。

【0038】接着剤が硬化した後、パッケージされたグレーティングの性能が従来方法により測定された。その結果を図3に示す。ここでカーブ30はパッケージされたグレーティングを表し、カーブ31は、パッケージされていない同一のグレーティングを表す。パッケージされたグレーティングの全体的な温度依存性は $-0.00231nm/℃$ であり、パッケージされていないグレーティングのそれは $+0.0115nm/℃$ である。本発明により改良されたことは明かである。

【0039】このパッケージされたグレーティングを光ファイバ通信システムに組み込んだが予想通りの性能を示した。

【0040】実験例2

バックリングされた光ファイバグレーティングを実験例1と同様な方法により得たが、ただし ZrW_2O_8 の粉末を Al_2O_3 の粉末と混合した点異なる。焼結したプレートの所望の熱膨張係数は、上記の式1により決定され、 Al_2O_3 対 ZrW_2O_8 の体積比率は、式2で決定された。パッケージされたグレーティングの熱膨張係数は、ほぼゼロであった。

【0041】

【発明の効果】以上述べたように本発明は、温度補償さ

れたファイバブラググレーティングの必要性に鑑み、このような温度補償を与えるような単純で信頼性のある方法および装置を提供するものである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施例を表す側面図

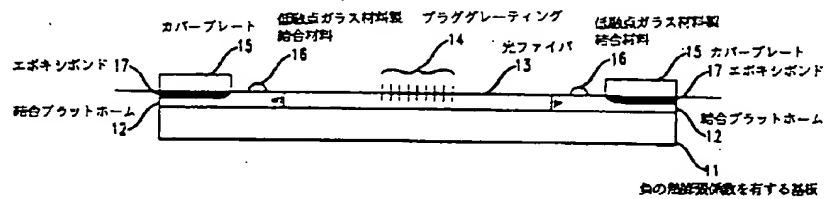
【図 2】 本発明の第 2 の実施例を表す側面図

【図 3】 本発明の一実施例による光ファイバブラググレーティングの実験結果を表す図

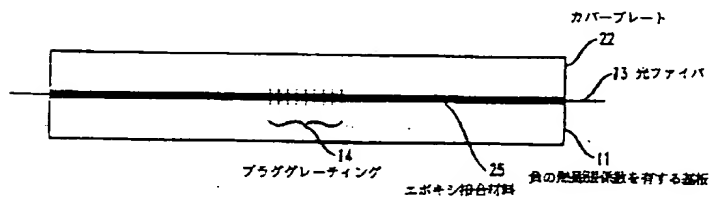
【符号の説明】

- 1 1 負の熱膨張係数を有する基板
- 1 2 結合プラットホーム
- 1 3 光ファイバ
- 1 4 ブラググレーティング
- 1 5 カバープレート
- 1 6 低融点ガラス材料製結合材料
- 1 7 エポキシボンド
- 2 2 カバープレート
- 2 5 エポキシ結合材料

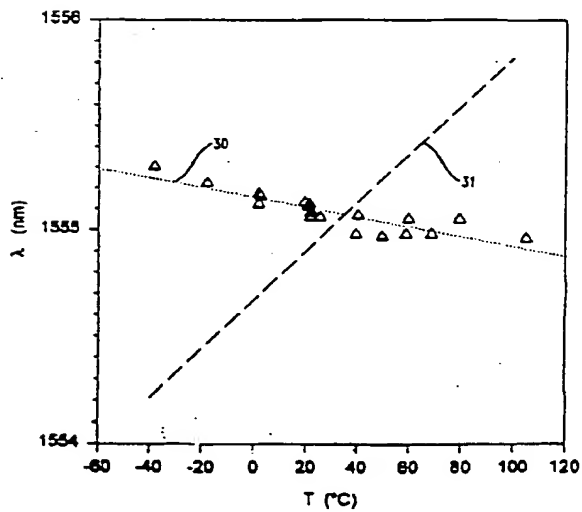
【図 1】



【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

- (72) 発明者 デブラ アン フレミング
アメリカ合衆国、07922 ニュージャージー
ー、パークレー ハイツ、ウィンザー ウ
エイ 128
- (72) 発明者 デビッド ウィルフレッド ジョンソン
ジュニア
アメリカ合衆国、07921 ニュージャージー
ー、ベッドミンスター、オークラ レーン
5
- (72) 発明者 ボール ジョセフ レメール
アメリカ合衆国、07940 ニュージャージー
ー、マディソン、ファーンデイル ロード
18